

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

Light emitting diode

Patent Number: ☐ US5329141
Publication date: 1994-07-12
Inventor(s): SUZUKI AKIRA (JP); FUJII YOSHIHISA (JP); SAITO HAJIME (JP); FURUKAWA KATSUKI (JP); TAJIMA YOSHIMITSU (JP)
Applicant(s): SHARP KK (JP)
Requested Patent: ☐ JP5129656
Application Number: US19920968973 19921030
Priority Number(s): JP19910286741 19911031
IPC Classification: H01L33/00
EC Classification: H01L33/00C4E, H01L33/00G2
Equivalents:

Abstract

A light emitting diode of silicon carbide having a p-n junction comprising an n-type layer doped with donor impurities, a first p-type layer doped with acceptor impurities, and a second p-type layer doped with acceptor impurities and donor impurities. The first p-type layer has a thickness less than the diffusion length of electrons having flowed from the n-type layer. In this way, the first p-type layer effects light emission related to the acceptor impurities which recombine with the electrons having flowed from the n-type layer, and the second p-type layer effects light emission by donor-acceptor pairs which recombine with the electrons having flowed from the n-type layer.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19)日本特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-129656

(43)公開日 平成5年(1993)5月25日

(51)Int.Cl.

H01L 33/00
21/205

識別記号

A 8834-4M
7454-4M

庁内整理番号

FI

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数8(全10頁)

(21)出願番号 特願平3-288741

(22)出願日 平成3年(1991)10月31日

(71)出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72)発明者 鈴木 彰

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

シャープ株式会社内

(72)発明者 藤井 良久

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

シャープ株式会社内

(72)発明者 斎藤 肇

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

シャープ株式会社内

(74)代理人 弁理士 山本 秀策

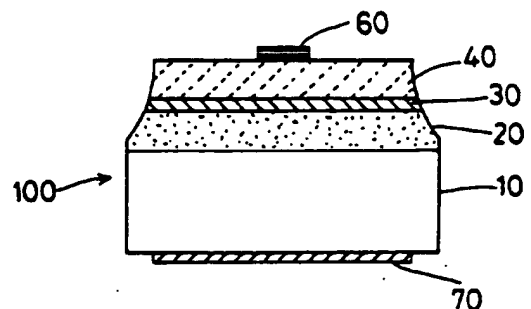
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 p-n接合型発光ダイオード

(57)【要約】

【目的】 2種類の青色発光をする2種類のp層を積層し各層による発光を独立に行って、再現性、制御性を良くし、発光ピーク波長を制御可能にして、ピーク波長の純粋な青色発光で高輝度化を達成する。

【構成】 拡散距離内にアクセプタ不純物のみを添加した第1のp型層30と、アクセプタ不純物及びドナ不純物を添加した第2のp型層40とを積層して構成される。これらの2層のp型層30及び40による発光が加わって、460～470nmを波長とする純粋な青色で高輝度の青色発光ダイオード100が得られる。各層による発光が独立に行われ、層厚と各層へのアクセプタとドナの添加量を制御することにより、再現性、制御性良く、発光ピーク波長を制御できる。



R011650

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】炭化珪素を用いたpn接合型発光ダイオードであって、

発光に関与するpn接合を構成しドナ不純物が添加されたn型層と、

該n型層に隣接して形成され電子の拡散長より薄くして実質的にアクセプタ不純物のみが添加された第1のp型層と、

該第1のp型層上に形成され、該アクセプタ不純物と該ドナ不純物の両方が添加された第2のp型層と、

を有し、該n型層より注入してきた電子が第1のp型層内と第2のp型層内の両方でホールと再結合することにより、該アクセプタ不純物が関与する発光と、ドナ・アクセプタ対発光との両方を利用したpn接合型発光ダイオード。

【請求項2】炭化珪素を用いたpn接合型発光ダイオードであって、

発光に関与するpn接合を構成しドナ不純物が添加されたn型層と、

該n型層に隣接して形成され電子の拡散長より薄くしてアクセプタ不純物とドナ不純物の両方が添加された第1のp型層と、

該第1のp型層上に形成され実質的にアクセプタ不純物のみが添加された第2のp型層と、

を有し、該第1のp型層の厚さは、該n型層より注入してきた電子が該第1のp型層内と該第2のp型層内の両方でホールと再結合することにより、該アクセプタ不純物が関与する発光と、ドナ・アクセプタ対発光と、の両方を利用したpn接合型発光ダイオード。

【請求項3】前記第1のp型層及び前記第2のp型層のホール濃度を、前記n型層の電子濃度の5分の1以下に設定した請求項1又は請求項2に記載のpn接合型発光ダイオード。

【請求項4】前記第2のp型層の上に前記第1のp型層及び前記第2のp型層より多いホール濃度をもつ第3のp型層を形成した請求項1、請求項2、又は請求項3、に記載のpn接合型発光ダイオード。

【請求項5】前記n型層に隣接する前記第1のp型層の厚さを0.01~0.5 μ mに形成した請求項1~請求項4に記載のpn接合型発光ダイオード。

【請求項6】発光ピーク波長が、460nm~470nmである請求項1~請求項5に記載のpn接合型発光ダイオード。

【請求項7】前記アクセプタ不純物がアルミニウムであり、前記ドナ不純物が窒素である請求項1~請求項6に記載のpn接合型発光ダイオード。

【請求項8】前記炭化珪素が、6H型、15R型及び4H型から成る群から選択された結晶多形である請求項1~請求項7に記載のpn接合型発光ダイオード。

【発明の詳細な説明】

2

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は炭化珪素を用いたpn接合型発光ダイオードの構造に関し、特に、高輝度な青色発光ダイオードに関する。

【0002】

【従来の技術】発光ダイオードは、小型で、消費電力が少なく、高輝度発光を安定に行い得る発光源であるので、各種表示装置における情報記録読み取り用の光源として利用されている。これまでに広く実用化されている可視光発光ダイオードは、赤から緑色の高輝度発光が可能である。これに対して、現在開発されている青色の可視光を発光する発光ダイオードは、依然として輝度が低く、広く実用化されるまでには至っていない。

【0003】一般に、発光ダイオードの発光色は使用する半導体材料に依存する。青色発光ダイオード用の半導体材料は、IV-IV族化合物半導体である炭化珪素(SiC)、III-V族化合物半導体である窒化ガリウム(GaN)、そしてII-VI族化合物半導体である硫化亜鉛(ZnS)に限られる。これらの半導体材料を用いて、青色発光ダイオードの研究開発が盛んに行われているが、広く実用化し得る程度に高い輝度及び安定性を有する素子の量産化には至っていない。

【0004】発光ダイオードの素子構造としては、電子やホールを発光領域へ効率的に注入できるpn接合型の発光ダイオードが最も適している。しかし、上記の青色発光ダイオード用の半導体材料の中で、GaN、ZnSe、及びZnSの各半導体は、p型結晶を得ることが困難か、あるいは得られても高抵抗であるか、あるいは不安定であるので、pn接合型の発光ダイオードを作製することが困難である。そこで、薄い絶縁層や高抵抗層を利用したMIS(金属-絶縁層-半導体)構造を採用した青色発光ダイオードも製作されている。ところが、このようなMIS構造を有する発光ダイオードは、素子特性が不均一であったり、発光が不安定であるという欠点を有する。

【0005】これに対して、炭化珪素(SiC)はp型結晶およびn型結晶が容易に得られるので、pn接合型の発光ダイオードを作製することができる。これまで液相エピタキシャル成長法(LPE法)により作製された炭化珪素のpn接合型青色発光ダイオードについては、すでに多くの報告がなされている。(例えば、H. Ikeda, T. Hayakawa, S. Yamagawa, H. Matsunami, and T. Tanaka, Journal of Applied Physics, Vol 50, No.12, pp.8215-8225 1979)。

【0006】しかし、LPE法により作製されたpn接合型青色発光ダイオードは依然として輝度が低く、20mAで動作させた場合に15mcd以下の輝度しか得られていない。その主な原因は、成長温度が1,700~1,800℃と高く、活性なSi融液中で成長が起こるので、成長の制御性に劣り不要な不純物が混入されやす

3

いたためであると考えられる。また、LPE法では量産性に乏しいという問題がある。

【0007】そこで、最近本発明者らは、化学的気相成長法(CVD法)を用いて、青色の可視光を高輝度で安定に発光し得るpn接合型発光ダイオードを制御性及び量産性よく製造する方法を考案した。(特願平2-129918)。

【0008】炭化珪素には種々な結晶多形(polytype)が存在し、少しずつ禁制帯幅(バンドギャップ)が異なる。青色発光ダイオード製作用には約3eVの禁制帯幅をもつ6H型の炭化珪素が主として用いられる。従来のLPE法による青色発光ダイオードでは窒素ドナーとアルミニウムアクセプタのドナーアクセプタ対を主としてn層中に形成し、ドナーアクセプタ対による青色発光を利用して、ピーク波長は470~480nmである。(例えば、松下保彦、古賀和幸、上田康博、山口隆夫、応用物理学誌第60巻、第2号、1991年、159~162頁)また、発明者らはCVD法を用いてアルミニウムアクセプタのみが関与した青色発光ダイオードを製作する発明を行い、ピーク波長455nmの青色発光を得た。(特願平2-184464、特願平2-406598、及びAbstracts ICVE-7 (The International Conference on Vapour Growth and Epitaxy, Nagoya, Japan, 1991, p.111, Akira Suzuki, Yoshihisa Fujii, Katsuki Furukawa, Shigeo Nakajima)。

【0009】また、Edmondは窒素ドナーとアルミニウム・アクセプタのドナー・アクセプタ対をp層中に形成して、ピーク波長475~480nmの青色発光ダイオードを製作している。(J.A.Edmond, US特許4918497)。これら従来の青色発光ダイオードの構造を図13(松下他)、図14(A.Suzuki他)、図15(J.A.Edmond)に示す。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】一般的に可視光発光ダイオードの高輝度化を実現する場合、人間の眼の視感度特性を考慮しなければならない。視感度特性と発光色の関係を図1に示す。視感度は緑の555nm付近を最大として、短波長の青色になるほど悪くなり、同じ光出力があっても人間の目には暗く見える。このため視感度の観点からすると、長波長ほど高輝度化に有利であるが、長波長によるほど緑色が混ざってきて単色性に劣る。図13及び図15に示す従来の窒素ドナー・アルミニウムアクセプタ対を用いた青色発光は、ピーク波長が470~480nmであり、視感度では有利であるが緑色が混ざり青色の単色性に劣る。また、図14に示すアルミニウム・アクセプタによる発光を利用する青色発光では、ピーク波長が455nmであり、青色の単色性にはすぐれるが、視感度の点では不利である。

【0011】単色性に優れ、かつ、視感度でも有利な青色発光ダイオードのピーク波長は460~470nmで

4

あるが、従来の炭化珪素の青色発光ダイオードでは、このピーク波長を得る発光ダイオードを量産実用化に適した方法で制御性良く製作できる方法がなかった。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明のpn接合型発光ダイオードは、炭化珪素を用いたpn接合型発光ダイオードであって、発光に関与するpn接合を構成しドナ不純物が添加されたn型層と、該n型層に隣接して形成され電子の拡散長より薄くして実質的にアクセプタ不純物のみが添加された第1のp型層と、該第1のp型層上に形成され、該アクセプタ不純物と該ドナ不純物の両方が添加された第2のp型層と、を有し、該n型層より注入してきた電子が該第1のp型層内と該第2のp型層内の両方でホールと再結合することにより、該アクセプタ不純物が関与する発光と、ドナー・アクセプタ対発光との両方を利用するものであり、そのことにより上記目的が達成される。

【0013】さらに本発明のpn接合型発光ダイオードは、炭化珪素を用いたpn接合型発光ダイオードであって、発光に関与するpn接合を構成しドナ不純物が添加されたn型層と、該n型層に隣接して形成され、電子の拡散長より薄くしてアクセプタ不純物とドナ不純物の両方が添加された第1のp型層と、該第1のp型層上に形成され実質的にアクセプタ不純物のみが添加された第2のp型層と、を有し、該第1のp型層の厚さは、該n型層より注入してきた電子が該第1のp型層内と該第2のp型層内の両方でホールと再結合することにより、該アクセプタ不純物が関与する発光と、ドナ・アクセプタ対発光との両方を利用するものであり、そのことにより上記目的が達成される。

【0014】好ましくは、前記第1のp型層及び前記第2のp型層のホール濃度を、前記n型層の電子濃度の5分の1以下に設定されたものである。

【0015】好ましくは、前記第2のp型層の上に、前記第1のp型層及び該第2のp型層より多いホール濃度をもつ第3のp型層を形成したものである。

【0016】好ましくは、前記n型層に隣接する第1のp型層の厚さを0.01~0.5μmに形成したものである。

【0017】好ましくは、発光ピーク波長が、460nm~470nmである。

【0018】好ましくは、前記アクセプタ不純物がアルミニウムであり、前記ドナ不純物が窒素である。

【0019】好ましくは、前記炭化珪素が6H型、15R型および4H型から成る群から選択された結晶多形である。

【0020】ピーク波長460~470nmの青色発光を得るためには、上述のアルミニウムアクセプタによる455nmの発光と、窒素ドナー・アルミニウムアクセプタ対による470~480nmの発光との両方を同時

5

に活用して、ピーク波長を中間の460~470nmとすることが容易に考えられる。これを実現する一つの方法として、アルミニウムアクセプタを添加したp層での発光を利用し、p層には窒素ドナーも添加して、アルミニウムアクセプタと窒素ドナーの添加量を調整して、アルミニウムアクセプタによる発光と、窒素ドナー・アルミニウムアクセプタによる発光と、窒素ドナー・アルミニウムアクセプタ対発光の両方を同時に得る方法が容易に考え出される。しかし、この場合、同一の領域から発生する2つの発光を制御することは容易でなく、発光ピーク波長、発光強度は再現性、制御性に乏しく、実用化に不利である。

【0021】本発明者らは、pn接合ダイオードに順方向バイアス電圧を印加して、n層からp層へ注入してきた少数キャリアである電子が、ただちにp層中のホールと再結合して発光するのではなく、ある拡散距離で定義される長さだけpn結合の界面からp層の中の方へ電子が拡散して入り込みながらホールと再結合して発光していくのに着目した。そして、p層をアルミニウムアクセプタだけを含む層と、アルミニウムアクセプタと窒素ドナーを含む層との2個のp層の積層構造とし、その層の厚さを、少数キャリアである電子の拡散距離を考慮して設定してやることにより、それぞれのp層で発生したアルミニウムアクセプタによる発光と窒素ドナー・アルミニウムアクセプタ対発光とを同時に得ることによって、目的とする波長460~470nmの青色発光を実現する手法を着想した。

【0022】以下に更に図解をもって説明する。

【0023】pn接合ダイオードに順方向バイアス電圧を印加した時に流れる電流は一般に、n層からp層へ注入した電子による電子電流 I_e とp層からn層へ注入したホールによるホール電流 I_h の和となる。 I_e と I_h の比は、熱平衡状態のn層の電子濃度を n 、p層のホール濃度を p とし、n層の電子移動度を μ_n 、p型のホール移動度を μ_h とし、また、p層中の電子の拡散距離を l_e 、n層中のホール拡散距離を l_h とすると、 $I_e/I_h = (\mu_n n l_n) / (\mu_h p l_e)$ で与えられる。 l_e 、 l_h の値としてはそれぞれ、1.6 μm 、0.85 μm が報告されており(松波弘之、楢祐植、木本恒暢、上田哲三、辻鼓、山下篤、電子情報通信学会、電子部品、材料研究会 研究報告 CPH90-64, 1991, 29-34頁)、 μ_n と μ_h の値はそれぞれ200 cm^2/Vs 、50 cm^2/Vs 程度である。その結果

【0024】

【数1】

$$I_e/I_h \approx 2.1 \times n/p$$

【0025】となる。従って、n層の電子濃度をp層のホール濃度の5倍以上とすれば、 I_e/I_h は10以上となり、電流は主としてp層中へ流れ込むn層からの電子による電流となる。n層からp層へ流れ込んだ電子は、

6

ホールと再結合しながら、指数関数的に減少し、p層の中へ拡散していく。pn界面の位置座標を $x=0$ として、p層中のpn界面からの距離を x とすると、p層中の電子の数 $n_p(x)$ は

$$n_p(x) = n_p(0) \exp(-x/l_e)$$

で表せる。すなわち、pn界面から拡散距離 l_e だけp層側へ入ったところで注入電子は

【0026】

【数2】

$$1/e (\approx 0.37)$$

【0027】となり、少数キャリアである電子の注入距離の目安となる。すなわち今の場合、約1.6 μm である。実際の青色発光ダイオードでは、p層中にアクセプタ以外にドナーも含ませる領域を形成するため添加不純物量が多く、 l_e はこれより小さいと考えられ、約1 μm 程度と見なせる。

【0028】本発明では、このp層中の拡散距離内にアルミニウムアクセプタのみを添加したp層と、アルミニウムアクセプタと窒素ドナーを添加したp層と、を積層し、前者より455nmの発光、後より470~480nmの発光を得た。そして、両者の発光の和により目的とする460~470nmの純粋な青色の発光ダイオードを得た。構造としては図2にその概念図を示すように、アルミニウムアクセプタのみを添加したp層をn層に接して形成した構造と、図3にその概念図を示すように、アルミニウムアクセプタを窒素ドナーに添加したp層をn層に接して形成した構造との2種類がある。図2、図3に於て、(a)はpn接合構造を示し、(b)は注入された電子の分布と近似的な発光分布を示す。それぞれの発光の強度は、図2(b)、図3(b)の斜線を施した部分の面積で近似的に示される。これら2層のp層による発光が加わって、図4に示すように目的とする460~470nmを波長とし、純粋な青色で高輝度の青色発光ダイオードが得られる。

【0029】

【作用】本発明の青色発光ダイオードでは、p層中の拡散距離内にアルミニウムアクセプタのみを添加した第1のp型層と、アルミニウムアクセプタと窒素ドナーを添加した第2のp型層とを積層して構成される。

【0030】このため、前者では図2(b)の左下がりの斜線で示す面積の発光強度の455nmが得られ、後者では図2(b)の右下がりの斜線で示す面積の発光強度の470~480nmが得られる。

【0031】これら2層のp層による発光が加わって、図4に示すように目的とする460~470nmを波長とする純粋な青色で高輝度の青色発光ダイオードが得られる。この青色発光ダイオードは、2種類の青色発光をする2種類のp層を積層して形成されており、各層による発光が独立に行われ、層厚と各層へのアクセプタとドナーの添加量を制御することにより、再現性、制御性を良

7

くし、発光ピーク波長を制御できる。

【0032】

【実施例】以下に本発明の実施例について説明する。

【0033】（実施例1）本実施例では、6H型のSiC（禁制帯幅約3eV）を用いたpn接合型の青色発光ダイオードを製作した。図5は本実施例のpn接合型青色発光ダイオード100の構造を示す断面図である。このpn接合型青色発光ダイオード100の発光に関与するpn接合は、6H型のn-SiC単結晶基板10と、その上に順次形成されたn-SiC単結晶層20と、2種類のp-SiC単結晶層30および40と、によって構成されている。そして、n-SiC単結晶基板10の裏面には、Niからなるn側オーム性電極70が設けられ、他方p-SiC単結晶層40の上面には、TiとAlの積層からなるp側オーム性電極60が設けられている。

【0034】図9は本実施例で用いた気相成長装置39の概略図である。この気相成長装置39は、筒状の石英製の反応管21と、その開口部に取付られたフランジ29と、を有する。石英製の反応管21は、その内部に突設された支持棒23の先端に試料台22が付設されている。試料台22及び支持棒23は、いずれも黒鉛製である。試料台22は水平に設置されてもよく、適当に傾斜して設置されてもよい。反応管21は二重構造に形成され、その外管の外周囲にはワークコイル24が巻回されている。試料台22上に設置された基板試料25は、ワークコイル24に高周波電流が流されることにより、所定の温度に加熱される。反応管21の片側には枝管26が設けられており、枝管26は、原料ガス、キャリアガス、及び不純物ガスの導入口となる。二重構造を有する反応管21の外管の空室には枝管27、28が設けられており、これらを通じて冷却水を流すことにより、反応管21を冷却することが出来る。反応管21の開口部は、ステンレス性のフランジ29で閉塞され、その開口部の周縁に配設された止め板35、ボルト31、ナット32、およびオーリング33によりシールされている。フランジ29の中央付近には枝管34が設けられており、枝管26から導入された上記のガスが排出される。

【0035】本実施例のpn接合型発光ダイオード100は、このような気相成長装置39を用いて、以下のよう

【0036】

【数3】

(1120)

【0037】方向へ約5度傾斜した面を用いた。

【0038】ついで、この気相成長装置39には水素ガスをキャリアガスとして、毎分 1×10^3 ccの割合で、

8

枝管26から反応管21の内部へ流しながら、ワークコイル24に高周波電流を流して、n-SiC単結晶基板10を $1,400 \sim 1,500^\circ\text{C}$ に加熱した。そして、キャリアガスに原料ガスおよび不純物ガスを加えることにより、n-SiC単結晶基板10上にn-SiC単結晶層20およびp-SiC単結晶層30および40を順次成長させて、pn接合を形成した。

【0039】なお、本実施例では原料ガスとして、モノシラン(SiH_4)ガスおよびプロパン(C_3H_8)ガスを用いた。原料ガスの流量はいずれも毎分約1ccとした。また、不純物ガスとしては、アルミニウムアクセプタ添加用にはトリメチルアルミニウム($\text{Al}(\text{CH}_3)_3$)ガスを、窒素ドナ添加用には窒素(N_2)ガスを用いた。

【0040】n-SiC単結晶20を成長させる際には、窒素ガスを毎分 $1 \sim 5$ ccの割合で添加した。この不純物添加により、 $5 \times 10^{17} \sim 5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ の範囲の電子濃度のn型SiCが得られた。膜厚として $1 \sim 5 \mu\text{m}$ 程度成長させた。順方向バイアス電圧印加時のn-SiC積層単結晶膜30および40を成長させた。順方向バイアス電圧印加時のn-SiC膜20からの電子の注入効率をよくするため、前述したように、p-SiC膜30及び40のホール濃度はn-SiC膜20の電子濃度の $1/5$ 以下とし、 $5 \times 10^{16} \sim 5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ の範囲とした。トリメチルアルミニウムを毎分 $0.01 \sim 0.5$ ccの割合で添加することにより、上述のホール濃度が得られた。p-SiC膜30にはアルミニウムアクセプタを添加したがp-SiC膜40にはアルミニウムアクセプタ以外に窒素ドナも添加した。加えた窒素ガス流量は毎分 $0.01 \sim 1$ ccである。

【0041】順方向バイアス電圧を印加してn-SiC膜20から注入された電子が拡散してp-SiC膜30及びp-SiC膜40の両方でホールと再結合して発光する必要があるため、p-SiC膜30の膜厚はp-SiC膜30内での電子拡散距離より小さくする必要がある。本実施例では、p-SiC膜30の膜厚として $0.01 \sim 0.5 \mu\text{m}$ の範囲で変えた。p-SiC膜40の膜厚は $1 \sim 5 \mu\text{m}$ 程度である。

【0042】成長後、反応管21から基板試料25を取り出し、ドライエッチング法により、n-SiC膜単結晶膜20及びp-SiC膜単結晶膜30、40を選択的にエッチングして、図5に示すようなメサ構造を形成した。このエッチングにより、1つのpn接合部の寸法は約 $250 \mu\text{m} \times 250 \mu\text{m}$ 角となった。なお、エッチングガスとしては、四フッ化炭素(CF_4)ガスおよび酸素(O_2)ガスを用いた。最後にn-SiC単結晶基板10の裏面にはNiからなるn側オーム性電極70を形成し、p-SiC単結晶膜40の上面にはTiとAlの積層からなるp側オーム性電極60を形成することにより、図5に示すようなpn接合型発光ダイオード100

を得た。

【0043】得られた発光ダイオードに約3.2Vの動作電圧を印加したところ、20mAの電流が流れ、青色発光が得られた。p-SiC単結晶膜30の膜厚に応じて発光ピーク波長は図10に示す如く460から470nmの範囲で制御して変化させることができた。図11にその代表的な発光スペクトルを示す。

【0044】(実施例2)図6は本実施例2のpn接合青色発光ダイオード100の構造を示す断面図である。図6に示す本実施例2は図5で示す実施例1のダイオード構造の上側のp-SiC単結晶膜40とp側オーム性電極60との間にもうひとつのp-SiC単結晶膜50を設けたもので、それ以外は実施例1のものと同じである。p-SiC単結晶膜50のホール濃度は $5 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ の高濃度な低抵抗として、p側オーム性電極60からの電流が低抵抗p-SiC単結晶膜50で十分に横へ広がって広い面積のpn接合部に電流が流れるようにした。p-SiC単結晶膜50の膜厚は2~10 μm 程度とした。約3.2Vの動作電圧で20mAの電流が流れ実施例1と同様の青色発光が得られた。広い面積のpn接合部で発光したため、光の外部取り出し効率が向上して、実施例1に比較して明るさが約2倍になった。

【0045】(実施例3)図7は本実施例3のpn接合青色発光ダイオード100の構造を示す断面図である。本実施例3は図5に示す実施例1のダイオードの構造に比較して、n-SiC単結晶膜20に続いて、まずアルミニウムアクセプタと窒素ドナーの両方を添加してp-SiC単結晶膜40を成長させた。この後、アルミニウムアクセプタだけを添加したp-SiC単結晶膜30を成長させ、その膜厚をp-SiC単結晶膜40の膜厚である0.01~0.5 μm の範囲で変え、p-SiC単結晶膜30のp型層の膜厚を1~5 μm 程度とした。これ以外は、実施例1と同様に行った。

【0046】得られたpn接合青色発光ダイオード100に約3.2Vの動作電圧を印加したところ、20mAの電流が流れ、青色発光が得られた。ピーク発光波長は、p-SiC単結晶膜40の膜厚に応じて図12に示す如く、460~470nmの範囲で制御して変化させることができた。代表的な発光スペクトルは図11と同様であった。

【0047】(実施例4)図8は本実施例4のpn接合青色発光ダイオード100の構造を示す断面図である。本実施例4は図7に示す実施例3のダイオード構造の上側のp-SiC単結晶膜30と、p側オーム性電極60との間に、もうひとつのp-SiC単結晶膜50を設けた以外は、実施例3と同じである。p-SiC単結晶膜50のホール濃度は $5 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ の高濃度な低抵抗として、p側オーム性電極60からの電流が低抵抗p-SiC単結晶膜50で十分に横へ広がっ

て、広い面積のpn接合部に電流が流れるようにした。p-SiC単結晶膜50の膜厚は2~10 μm 程度とした。このpn接合青色発光ダイオード100では約3.2Vと同様の青色発光が得られた。広い面積のpn接合部で発光したため、光の外部取り出し効率が向上して、実施例3に比較して明るさが約2倍となった。

【0048】

【発明の効果】本発明のpn接合型発光ダイオードは、2種類の青色発光をする2種類のp層を積層して各層による発光を独立に行い、層厚と各層へのアクセプタとドナの添加量を制御して、再現性、制御性を良くし、発光ピーク波長を制御可能にして、ピーク波長の純粋な青色発光で高輝度化を達成できる。

【0049】このpn接合型発光ダイオードは、視感度でも有利なピーク波長460~470nmの炭化珪素青色発光ダイオードを、制御性および量産性よく製造できる。例えば、各種表示装置における表示部の多色化や、発光ダイオードを光源として用いた各種情報処理装置における情報記録読み取りの高速化及び高密度化を可能にする。しかも、量産化が可能であるので、発光ダイオードの応用分野が飛躍的に拡大される。

【図面の簡単な説明】

【図1】視感度と発光色の波長依存性を示す図。

【図2】本発明の基本概念の説明図。

【図3】本発明の基本概念の説明図。

【図4】本発明の基本概念の説明図。

【図5】本発明の異なる実施例で炭化珪素を用いたpn接合型発光ダイオードの断面図。

【図6】本発明の異なる実施例で炭化珪素を用いたpn接合型発光ダイオードの断面図。

【図7】本発明の異なる実施例で炭化珪素を用いたpn接合型発光ダイオードの断面図。

【図8】本発明の異なる実施例で炭化珪素を用いたpn接合型発光ダイオードの断面図。

【図9】本発明の炭化珪素を用いたpn接合型発光ダイオードの製造に用いられる気相成長装置の一例を示す構成断面図。

【図10】本発明の一実施例である炭化珪素を用いたpn接合型発光ダイオードの発光ピーク波長のp型層の膜厚依存性を示す図。

【図11】その発光スペクトルを示す図。

【図12】本発明の他の一実施例である炭化珪素を用いたpn接合型発光ダイオードの発光ピーク波長のp型層の膜厚依存性を示す図。

【図13】従来の炭化珪素を用いたpn接合型発光ダイオードの断面図。

【図14】従来の炭化珪素を用いたpn接合型発光ダイオードの断面図。

【図15】従来の炭化珪素を用いたpn接合型発光ダイオードの断面図。

11

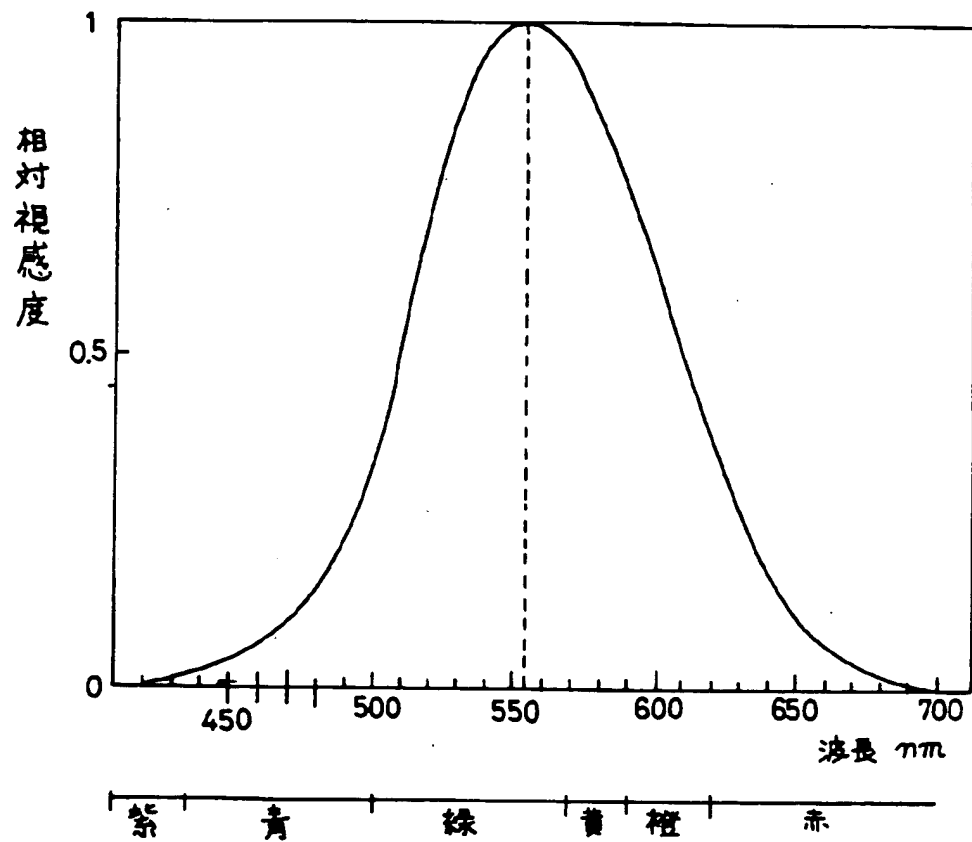
12

【符号の説明】

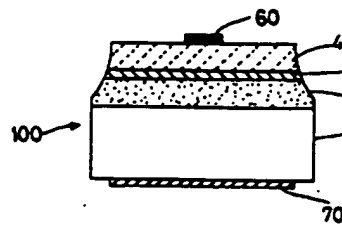
- 10 n-SiC単結晶基板
 20 n-SiC単結晶層
 30 アルミニウムを添加したp-SiC単結晶層
 40 アルミニウムと窒素を添加したp-SiC単結晶層
 50 アルミニウムを高濃度に添加したp-SiC単結晶層
 60 p側オーム性電極

- 70 n側オーム性電極
 100 pn接合青色発光ダイオード
 8 p-SiC単結晶基板
 9 アルミニウムと窒素を添加したn-SiC単結晶層
 21 反応管
 22 試料台
 25 基板試料

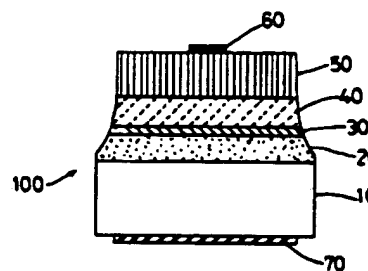
【図1】



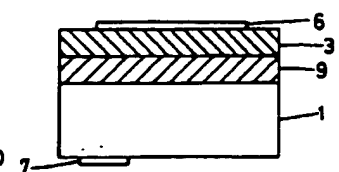
【図5】



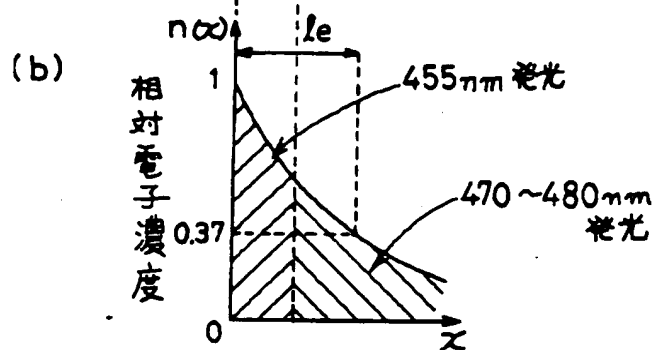
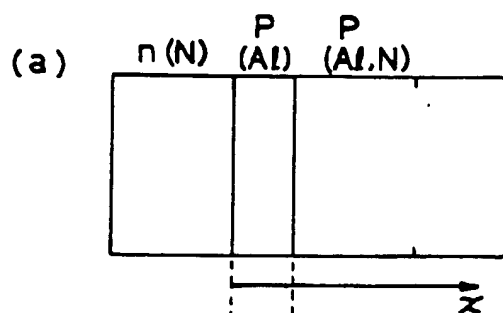
【図6】



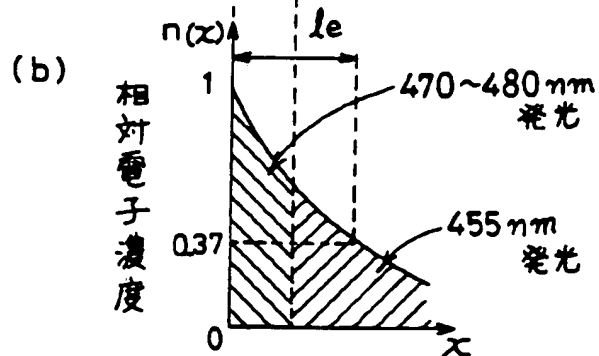
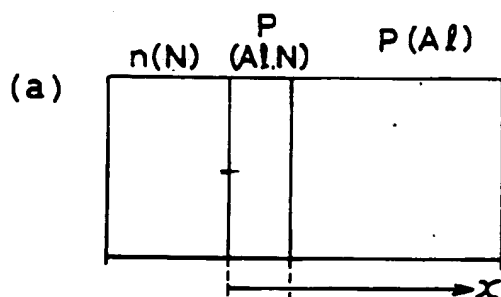
【図13】



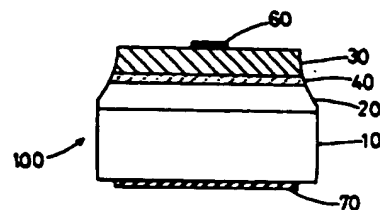
【圖2】



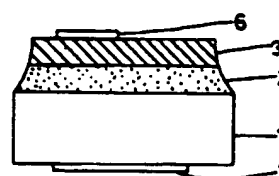
【圖3】



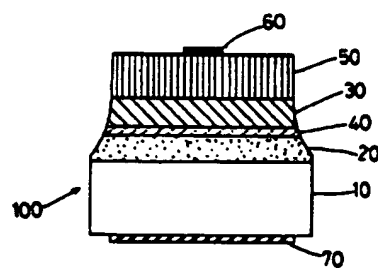
【圖7】



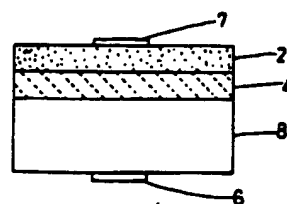
【圖14】



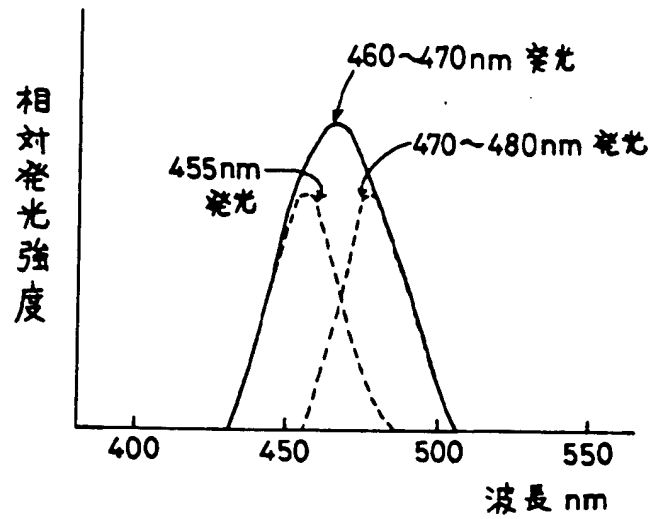
【圖8】



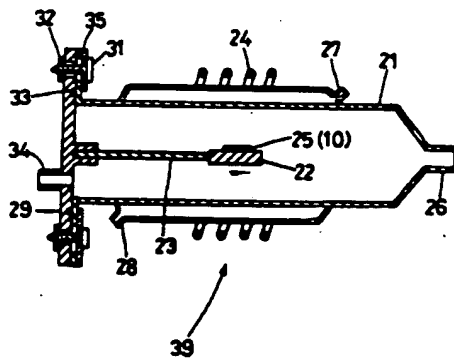
【圖15】



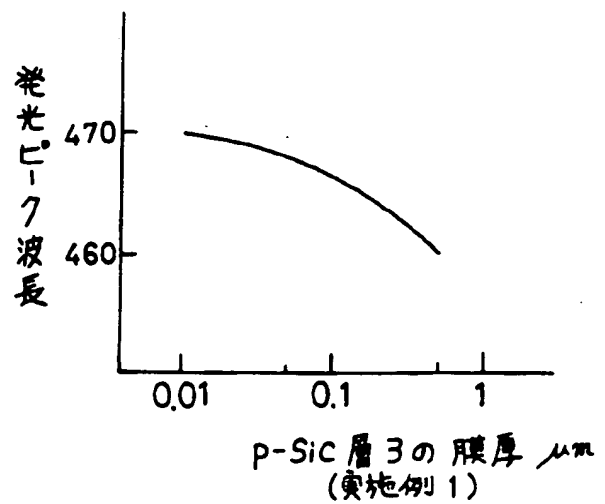
【図4】



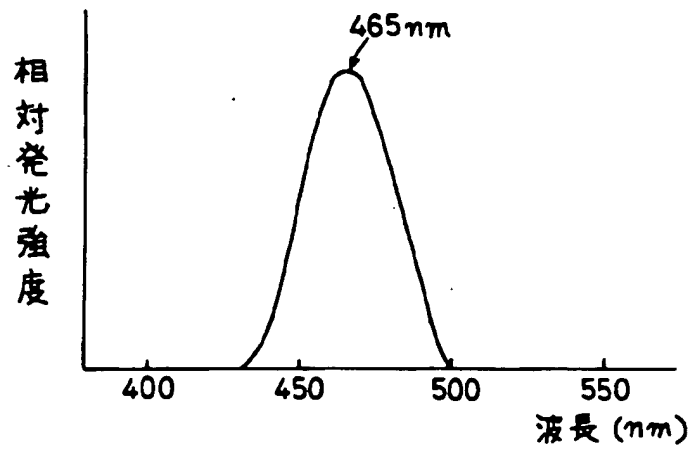
【図9】



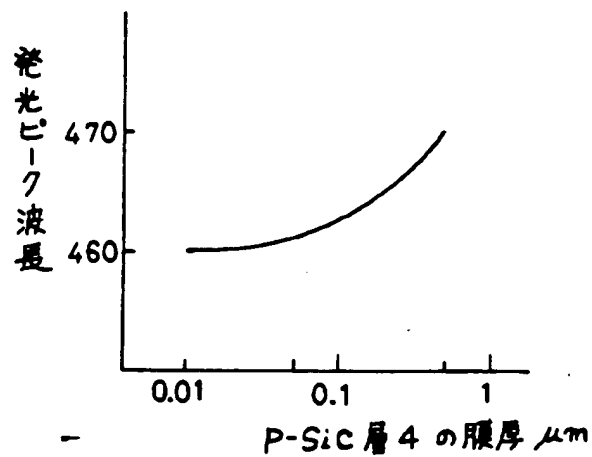
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 古川 勝紀
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ヤープ株式会社内

(72)発明者 田島 善光
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ヤープ株式会社内